



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Konsistensgrænser

Nielsen, Benjaminn Nordahl; Nielsen, Søren Dam

Publication date:
2019

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Nielsen, B. N., & Nielsen, S. D. (2019). *Konsistensgrænser*. Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg. DCE Lecture notes Nr. 50

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



INSTITUT FOR BYGGERI OG ANLÆG
AALBORG UNIVERSITET

Konsistensgrænser

Benjaminn Nordahl Nielsen
Søren Dam Nielsen

Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Sektionen for byggeri og infrastruktur

DCE Lecture Notes No. 50

Konsistensgrænser

Benjaminn Nordahl Nielsen
Søren Dam Nielsen

2019

© Aalborg Universitet

Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

Technical Reports anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

Technical Memoranda udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

Contract Reports benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

Lecture Notes indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

Theses er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

Latest News rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2019 af
Aalborg Universitet
Institut for Byggeri og Anlæg
Thomas Manns Vej 23
DK-9220 Aalborg Ø, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-7286
DCE Lecture Notes No. 50

Udgivelser i DCE Lecture Note serien

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Glødetab, DCE Lecture note no. 48, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Hydrometeranalyse, DCE Lecture note no. 49, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Kornvægtfylde, DCE Lecture note no. 51, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Løs og fast lejring, DCE Lecture note no. 52, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Rumvægt, DCE Lecture note no. 53, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Sigteanalyse, DCE Lecture note no. 54, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Nielsen, B.N. og Nielsen, S.D. 2019, Vandindhold, DCE Lecture note no. 55, Aalborg Universitet, Institut for byggeri og anlæg, Aalborg.

Forord

Denne vejledning omhandler bestemmelse af konsistensgrænser.

Vejledningen er en del af en serie, der beskriver udførelsen af geotekniske klassifikationsforsøg som de foretages i laboratoriet for fundering ved Aalborg Universitet.

Vejledningen er opbygget på følgende måde:

- *Tilhørende standarder*
- *Definitioner*
- *Apparatur*
- *Kalibrering af udstyr*
- *Klargøring af prøvemateriale*
- *Forsøgsprocedure*
- *Beregninger*
- *Rapportering*
- *Bemærkninger*
- *Skema til brug for forsøgsudførelse*
- *Evt. bilag*

Det må anbefales brugeren af denne vejledning at læse hele vejledningen igennem inden forsøget påbegyndes.

Nummerering på figurer er i teksten angivet med { }.

Enheder er angivet med [], f.eks. [%].

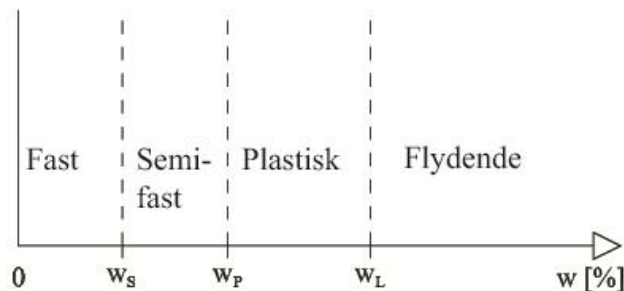


Tilhørende standarder

Forsøget er baseret på og yderligt beskrevet i standarden DS/CEN ISO/TS 17892-12 og ASTM D4318-10.

Definition

For sand og grus kan man angive en lejrings relative tæthed. For ler og silt kan dette ikke gøres entydigt, og man benytter derfor vandindholdet til at karakterisere tilstanden.



Figur 1: Karakterisering af ler og silt afhængig af vandindholdet.

w_s [%]	Svindgrænse
w_p [%]	Plasticitetsgrænse (udrulningsgrænse)
w_L [%]	Flydegrænse
$w_{\text{in situ}}$ [%]	Naturlige vandindhold

Plasticitetsindekset I_p er 0 for alle sandjordarter

I_p er forsvindende lille for grovsilt og kun nogle få procent for finsilt.

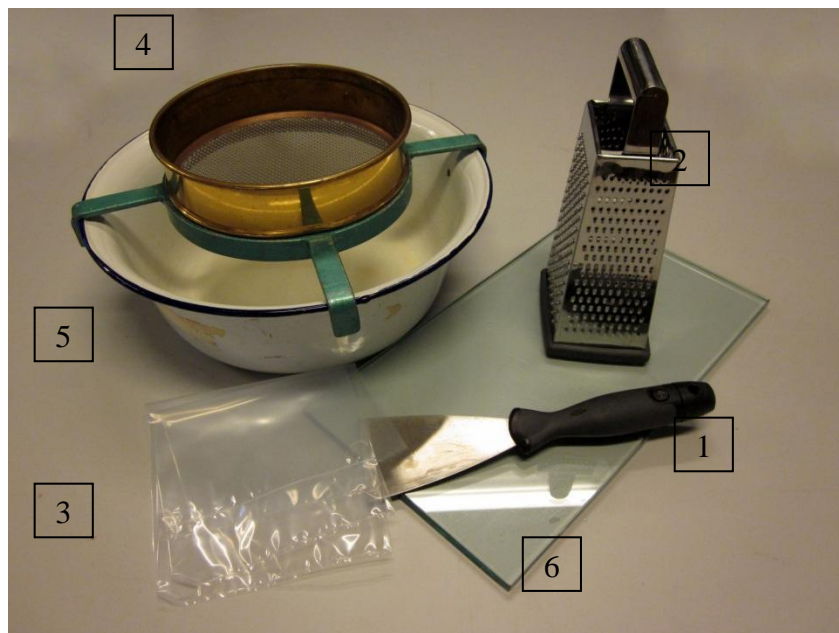
Det er over 8 % selv i meget sandet ler og over 100 % i vore fedeste lerarter.

Vejledning i bestemmelse af svindgrænse er ikke medtaget her.

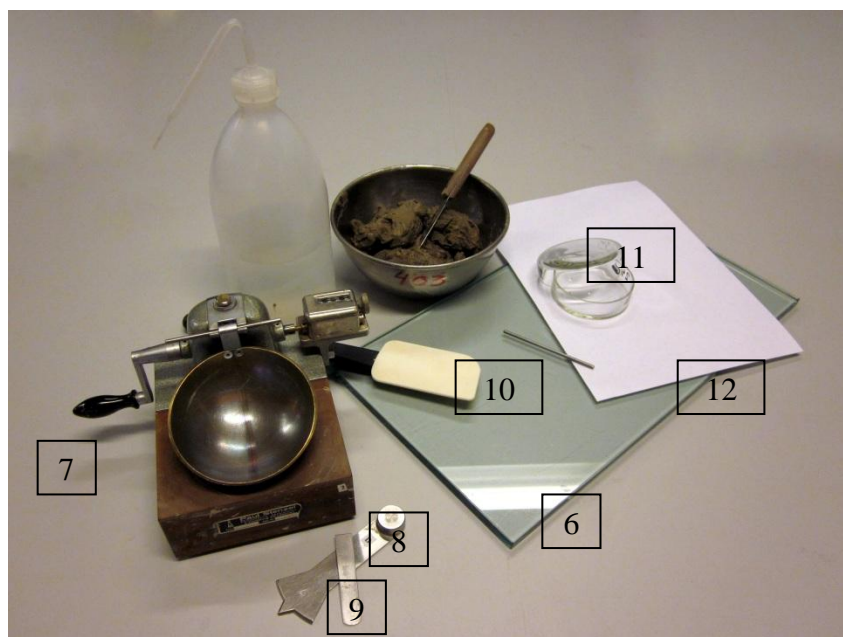
Apparatur

Apparatur som benyttes i forsøget, numrene henviser til figur 2 og figur 3.

- Spartel {1}
- Rivejern {2}
- Poser {3}
- 0,42 mm sigte {4}
- Balje med sigteholder {5}
- Glasplade {6}
- Trykspuler
- Casagrandeapparat {7}
- Furejern m. afstandsblok {8}
- Afstandsmåler {9}
- Stålpind, Ø 3mm {10}
- Petriskåle med låg {11}
- Blankt hvidt papir {12}
- Tørreskab, 105°C
- Skåle
- Demineraliseret vand



Figur 2: Apparatur til homogenisering af materiale.



Figur 3: Apparaturl til udførelse af flyde- og plasticitetsforsøg.

Kalibrering af udstyr

Casagrandeapparatet skal kalibreres før hvert forsøg. Strækker forsøgene over flere dage skal faldhøjden kontrolleres før forsøget påbegyndes. Kalibreringen er vigtigt, da selv små unøjagtigheder i faldhøjden af skålen kan have meget stor indflydelse på den fundne flydegrænse.

Udførelsen af kalibrering af Casagrandeapparatet kan ses i 'Casagrandeapparat Manual for kalibrering' af Nielsen et al.

Klargøring af prøvemateriale

Flydegrænse og plasticitetsgrænse bestemmes ved forsøg med den fraktion af jorden, der er mindre end 0,42 mm. Jorden skal være en homogen masse, hvorfor en grundig homogenisering af materialet er nødvendig. Homogeniseres jorden ikke tilstrækkeligt kan det have stor indflydelse på resultatet af forsøget.

Klargøring af materialet afhænger af hvilket materiale der hovedsageligt er tale om. Der skal til alle slag materiale benyttes ca. 200 g. Er der store massive partikler, så som sten eller lignende skal der benyttes mere materiale.

Fede lerarter

- Prøven deles på et rivejern således stykkerne har en maksimal bredde på 2 mm, tykkelse på 1 mm og længde på 1,5 cm, figur 4.
- En repræsentativ del af prøven placeres i en prøvepose og der tilsættes demineraliseret vand.
- Materialet i prøveposen lukkes og efterlades til den efterfølgende dag. Dette giver materialet tid til at optage det tilsatte vand. Ælt løbende prøveposen, således materialet bliver blandet.
- Materialet presses ud af prøveposen og ud på en 0,42mm sigte.
- Materialet masseres forsigtigt gennem sigten og ned i en skål, figur 5.
 - Det kan være nødvendigt at tilføje mere demineraliseret vand på sigten.
 - Det kan være nødvendigt at fjerne materiale på undersiden af sigten med en dejskraber eller lignede.
- Materialet spartles i mindre portioner på en glasplade, figur 6, til materialet fremstår helt homogent uden små klumper eller luftbobler.
 - Tilføj eventuelt lidt vand undervejs, men pas på ikke at tilføre mere end materialets konsistens hele tiden er under flydegrænsen.
- De mindre portioner samles i en skål og det hele samles til en homogen masse, uden at blande luft i materialet.
- Udføres forsøget ikke straks efter homogeniseringen dækkes skålen med plastfilm for at forhindre dannelse af skorpe på materialet.



Figur 4: Ler revet på rivejernet.



Figur 5: Materialet masseres forsigtigt igennem en 0,42 mm sigte.



Figur 6: Materialet spartles i små portioner på en glasplade. Placer eventuelt en fugtig klud under glaspladen for at fastholde den.

Silt og sandet ler

Er materialet meget løst kan homogeniseringen foregå ved udvanding. Dette kan dog være en tidskrævende metode, da en omfattende fordampning af vand skal foregå inden selve forsøget kan påbegyndes.

- Prøven smuldres med fingrene eller deles på et rivejern, således stykkerne har en maksimal bredde på 2 mm, tykkelse på 1 mm og længde på 1,5 cm, figur 4.
- En repræsentativ del af prøven placeres i en skål.
- Der tilsættes lidt demineraliseret vand, og jorden æltes med fingrene eller en ske.
- Prøven anbringes på 0,42 mm sigten og spules med demineraliseret vand, figur 7, indtil der ikke kan iagttages urenheder i vandet, der rinder fra sigten.

- Det sikres, at der ikke ligger ikke-massive klumper tilbage på sigten. I hvilket tilfælde de knuses og spules.
- Det udvaskede materiale opsamles i en balje, tørres ved max. 50° C til plastisk konsistens.
 - Tørringen kan evt. foregå i et tørreskab eller på en radiator. Det skal sørges for at støv og andre partikler ikke aflejres i materialet.
 - Materialet må ikke tørres mere end til plastisk konsistens, hvorfor det er vigtigt at holde nært øje med materialet.
- Materialet omrøres løbende for at sikre ens vandindhold i hele prøven.



Figur 7: Udvanding af silt.

- Materialet spartles i mindre portioner på en glasplade, figur 6, til materialet fremstår helt homogent uden små klumper eller luftbobler.
 - Tilføj eventuelt lidt vand undervejs, men pas på ikke at tilføre mere end materialets konsistens hele tiden er under flydegrænsen.
- De mindre portioner samles i en skål og det hele samles til en homogen masse, uden at blande luft i materialet.
- Udføres forsøget ikke straks efter materialet har nået plastisk konsistens dækkes skålen med plastfilm for at dannelsen af skorpe på materialet.

Forsøgsprocedure

Forsøgene der udføres for at finde flyde- og plasticitetsgrænsen udføres på samme materiale der er homogeniseret som beskrevet ovenfor.

Flydegrænse

Flydegrænsen er defineret som det vandindhold w_l [%], hvor jordarten flyder og således lukker en rille af standardbredde over en længde af 12 mm, når jordprøven forstyrres ved fald fra 10 mm højde 25 gange i Casagrandeapparatet.

- Casagrandeapparatet kalibreres, således at koppens faldhøjde er nøjagtig 10 mm (den tykke ende på spatelen er 10 mm), se separat manual herom.
- Af det homogeniserede materiale udtages en delprøve på ca. 30 – 35 g, afhængig af vandindholdet, som dækkes til og lægges til siden til brug ved plasticitetsforsøg.
- Det kontrolleres at materialet er homogeniseret. Har prøven stået lidt siden, den blev homogeniseret æltes prøven med en lille spatel i skålen. Vær meget opmærksom på der ikke bliver introduceret luft i prøven under æltningen.
- En passende mængde af den gennemæltede jordprøve anbringes i Casagrandeapparatets skål og jævnes ud med en spatel i et plan med apparatets fodplade, således at tykkelsen bliver 1 cm på det dybeste sted, figur 8. Der anvendes så få strøg med spatlen som muligt for at undgå at der bliver introduceret glideflader i materialet.
- Med furejernet frembringes en fure i jordprøven, således at prøven deles langs en diameter gennem hængslets midte. Spatelen holdes hele tiden vinkelret på skålens overflade med den affasede kant modsat bevægelsesretningen. For at få en ren skarp fure er det som regel nødvendigt at tildanne furen ad flere gange. For hver gang føres furejernet dybere, og kun sidste gang skræbes på skålens bund, figur 9.



Figur 8: Materiale placeret i et Casagrandeapparat.



Figur 9: Furen laves over flere omgange, hvor furejernet hele tiden holdes vinkelret på skålen.

- Ved drejning af apparatets håndsving bringes koppen til to slag pr. sek., indtil furens sider berører hinanden ved koppens bund over en længde på 12 mm, figur 11.
 - Det skal sikres at eventuelle gemte luftbobler ikke har fået sammenlukning af furen til at ske for tidligt. Dette gøres ved at sikre at de to sider i furen har cirka samme form.
 - Hastigheden af svingene må ikke ændres når furen er ved at flyde sammen i bunden.
 - Der må ikke holdes i basen under forsøget.
- Antal slag noteres.
- Med en kniv udtages en delprøve i hele jordprøvens bredde vinkelret på furen gennem det sted, hvor sammenflydningen er sket.
 - Delprøvens mængde afhænger af det forventede vandindhold. 10 g er tilstrækkeligt ved silt og sandet ler, hvorimod op til 20 g skal anvendes ved fede lerarter.
- Delprøvens vandindhold bestemmes.
- Det resterende materiale i koppen returneres til skålen.

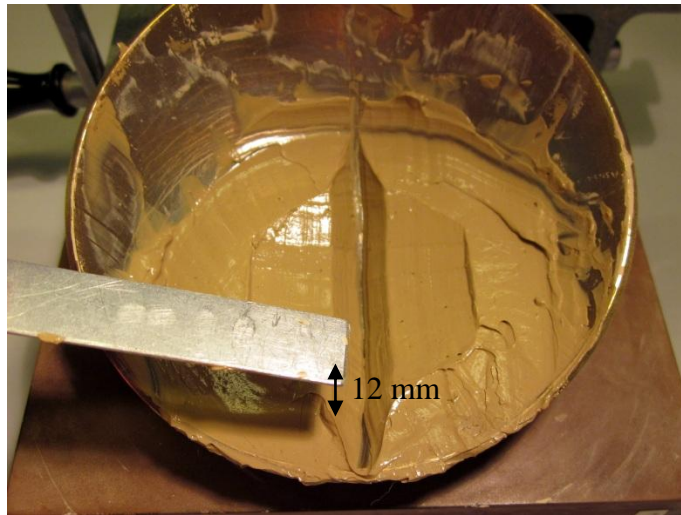
- Casagrandeskålen og furejernet rengøres og tørres grundigt.
- Jordprøven tilsættes en passende mængde demineraliseret vand og æltes med en spatel i 5 min.
 - Ved meget fede lerarter kan det være nødvendigt at lade materialet stå og optage vandet i et stykke tid efter det er blevet æltet, hvorefter den så skal æltes igen.
- Et nyt forsøg som beskrevet ovenfor udføres.

Forsøget gentages ved forskellige vandindhold, således at der fås mindst 5 resultater beliggende jævnt fordelt omkring 25 slag i området 10 – 50 slag, med 2 forsøg med et vandindhold der giver ca. 25 slag.

Forsøgene skal altid udføres ved successivt stigende vandindhold.



Figur 10: Furen i materialet før forsøget påbegyndes.

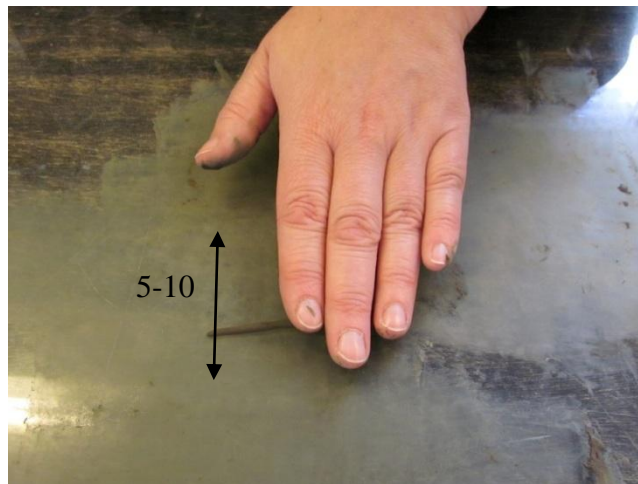


Figur 11: Furen som er flydt sammen over en strækning på 12 mm.

Plasticitetsgrænse

Plasticitetsgrænsen er defineret som det vandindhold w_p [%], jordarten indeholder, når den netop uden at briste lader sig udrulle til 3 mm tykke tråde.

- Den delprøve der blev udtaget før flydegrænseforsøget rulles med hånden på et stykke blankt hvidt papir. Sidder materialet fast på papiret er vandindholdet for højt og skal sænkes.
 - Vandindholdet sænkes ved hjælp af fordampning. Pas på der ikke dannes en skorpe på materialet, dette gøres ved regelmæssigt at ælte i materialet.
- Materialet rulles til en kugle mellem hænderne.
- Kuglen deles i 3 af ca. 10 g. Det efterfølgende skal udføres på alle dele.
- Delprøven deles i yderligere 4 dele, på hver ca. 2,5 g.
- Prøven rulles mellem tommel- og pegefingern for at fordele fugten i prøven ligeligt. Prøven rulles til en pølse med en diameter på ca. 6 mm.
- Pølsen rulles på en glasplade med fingrene fra fingerspids til andet led. Der påføres så meget tryk at prøven med 5-10 rul frem og tilbage lader sig udrulle til en tråd med en diameter på 3 mm, figur 12.
 - Er leret et meget fedt ler, kan det være nødvendigt at bruge 10-15 rul frem og tilbage.
 - Det er vigtigt at holde et ensformigt tryk under hele udrulningen.
- Således fortsættes indtil jordarten lige netop ikke brister, når den udrulles til en 3 mm tyk tråd, **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**
- Trådene opbevares i en petriskål med låg imens de resterende 3 prøver udrulles, figur 14.
- Vandindholdet i de fire udrulninger bestemmes sammen.



Figur 12: Udrulningen foregår med de to yderste led på fingrene. 5-10 rulninger frem og tilbage.



Figur 13: Udrulning samt stålspind, begge med en diameter på 3 mm.



Figur 14: Udrulninger i pertiskål med låg.

Beregning

Resultaterne fra flydegrænseforsøget afsættes i et semi-logaritmisk koordinatsystem. Vandprocenterne afsættes i aritmetisk skala, og antal slag i logaritmisk skala. Forsøgsresultaterne tilnærmes med en ret linje. Den vandprocent, der svarer til 25 slag, betegnes som flydegrænsen w_L [%] (Liquid limit).

Plasticitetsgrænsen, w_p [%] (Plastic limit), er givet ved gennemsnittet af vandindholdet fundet i trådene efter udrulning. Hvis vandindholdet i de tre udrulninger afviger med mere end 0,5 %, skal de kasseres og udføres igen.

Plasticitetsindeks

Plasticitetsindekset angiver det interval hvori jordarten er plastisk.

$$I_P = w_L - w_p [\%] \quad \text{Plasticitetsindeks}$$

Konsistensindeks

Konsistensindekset I_C eller jordens relative vandindhold angiver, hvor i det plastiske interval det naturlige vandindhold $w_{in situ}$ er beliggende.

$$I_C = \frac{w_L - w_{in situ}}{w_L - w_p} \quad \text{Konsistensindeks}$$

Rapportering

Flydegrænsen angives med 2 decimaler, og plasticitetsgrænsen angives i nærmeste hele tal.

I tilfælde af at der blev tilbageholdt materiale på 0,42 mm sigten, skal dette nævnes, samt den omtrentlige mængde af det tilbageholdte.

Homogeniseringsmetoden skal benævnes.

Bemærkninger

Det udvaskede materiale mindre end 0,42 mm må ikke tørres mere end til plastisk konsistens.

Det er koppers berøringspunkt med underlaget, der nøjagtig skal justeres til en faldhøjde på 10 mm. Bemærk, at det ikke er det laveste punkt på skålen, når denne er oppe.

Når tråden har nået en tykkelse på 3 mm, må man ikke forsøge at fremkalde brud ved at rulle langsomt med nedsat tryk.

Er der ikke tilstrækkeligt med materiale til at udtage materiale til udrulningen før flydegrænsforsøgene går i gang, kan man undlade at udtage en prøve. I dette tilfælde stilles det resterende materiale efter flydegrænsforsøget til tørring ved rumtemperatur indtil det vurderes at vandindholdet er lige over plasticitetsgrænsen. For at forhindre at der dannes skorper røres der jævnligt i materialet.

Sag		Sag nr.
Undersøgt d.	til	Lab. nr.
Kontr. d.	Godk. d.	Bilag nr.

FLYDEGRÆNSE

Prøve	nr					
Skål	nr					
Skål ind tørreskab	d. kl					
Skål ud tørreskab	d. kl					
Sk	g					
Sk + W	g					
Sk + W_s	g					
W_w	g					
W_s	g					
$w\% = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$	%					
Antal slag						

Antal slag

40

30

25

20

10

w (%)

Vandindhold

Sag			Sag nr.
Undersøgt d.	til	Lab. nr.	Boring nr.
Kontr. d.	Godk. d.	Kote	Bilag nr.

PLASTICITETSGRÆNSE

Prøve	nr					
Skål	nr					
Skål ind tørreskab	d. kl					
Skål ud tørreskab	d. kl					
Sk + W	g					
Sk + W _s	g					
Sk	g					
W _w	g					
W _s	g					
$w\% = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$	%					

Flydegrænse	w _L	%	
Plasticitetsgrænse	w _p	%	
Plasticitetsindeks	I _p =w _L -w _p	%	
Konsistensindeks	$I_C = \frac{w_L - w_{in situ}}{I_p}$		

